昆 虫 学 报 *Acta Entomologica Sinica*, June 2010, 53(6): 655 - 663　　ISSN 0454-6296

矿物油乳剂拒避橘小实蝇的有效组分分析

欧阳革成[1]，岑伊静[2]，余树楷[3]，黄明度[1]，梁广文[2,*]，张本龙[2]

(1. 广东省昆虫研究所，广州 510260；2. 华南农业大学资源环境学院，广州 510642；
3. 中国广州分析测试中心澳凯油品实验室，广州 510070)

摘要：高品质的矿物油乳剂可用于有机食品生产，在害虫综合治理中有良好的应用前景。矿物油是包含多种化学成分的混合物，其组成成分和比例决定其理化性质并关系到其防治病虫害的效果。已有研究报道表明，矿物油乳剂对许多害虫有拒避作用，但其机理及相关性组成成分尚未研究清楚。本实验测定了 4 种矿物油乳剂即 SK 绿颖农用喷洒油、加德士-路易夏用油、安波尔喷洒油、法夏乐石蜡油(分别简称为 SK，Caltex，Ampol 和 Citrole 油)和 Caltex 油 < 120℃，> 120℃，< 105℃，105 ~ 120℃及 SK 油 < 110℃、> 110℃等 6 种分子蒸馏组分的正构烷烃碳数当量 *n*Cy 值、碳数分布值及其对橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* 的产卵拒避效果。室内生物测定结果显示，橘小实蝇在 SK，Caltex，Ampol 和 Citrole 油 0.5% 水乳液及清水浸蘸处理后的香蕉上平均产卵孔数分别为 17.850 ± 1.282，3.400 ± 0.630，15.850 ± 1.439，20.650 ± 1.212 和 19.050 ± 1.155，在同样方法处理的阳桃上平均产卵孔数分别为 15.500 ± 3.969，3.000 ± 0.707，13.750 ± 4.131，17.250 ± 4.385 和 62.000 ± 4.708。橘小实蝇在 6 种分子蒸馏组分 0.5% 水乳液处理后的香蕉上的平均产卵孔数分别为 4.400 ± 1.166，8.200 ± 0.583，5.400 ± 1.720，2.400 ± 1.077，4.800 ± 1.594 和 12.200 ± 2.63，显示不同矿物油的拒避效果差异显著($P < 0.05$)，拒避效果最好的矿物油的正构烷烃碳数当量 *n*Cy 值在 *n*C23 左右。矿物油对橘小实蝇的产卵拒避效果与其相应的碳数分布值的 Spearman 等级相关性分析显示，其拒避效果与矿物油中的 C23 组分的含量呈显著正相关关系($P < 0.05$)。这可为进一步分析矿物油乳剂拒避害虫的作用成分和探索其机理提供参考。

关键词：矿物油；橘小实蝇；产卵拒避；有效组分；分子蒸馏

中图分类号：Q965.9　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：0454-6296(2010)06-0655-09

Assay of repellent components of mineral oils against the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Diptera: Tephritidae)

OUYANG Ge-Cheng[1], CEN Yi-Jing[2], YU Shu-Kai[3], HUANG Ming-Du[1], LIANG Guang-Wen[2,*], Zhang Ben-Long[2] (1. Guangdong Entomological Institute, Guangzhou 510260, China; 2. Collge of Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3. China National Analytical Center, Guangzhou Oilcare Oil Test Laboratory, Guangzhou 510070, China)

Abstract: Mineral oils with high quality are seeing more recognition in modern pest management approaches and internationally accepted for use in organic farming as pesticides. Mineral oils are mixtures including a lot of components, and their components and proportion determined physical and chemical properties and pest control effect. The equivalent *Normal*-paraffin carbon numbers (*n*Cy) and carbon number distribution of four mineral oils (SK EnSpray99, Caltex Lovis Miscible Summer Oil, Ampol D-C-Tron Spray oil, and Citrole paraffin oil) (hereinafter referred to as SK, Caltex, Ampol and Citrole oil, respectively) and six molecular distillation fractions (< 120℃, > 120℃, < 105℃, 105 - 120℃ fractions of Caltex oil, and < 110℃ and > 110℃ fractions of SK oil) were determined and the oviposition repellent effects of their 0.5% aqueous emulsions against the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis*, were bioassayed by dipping treatment in the laboratory. The results showed that the average puncture numbers of *B. dorsalis* on banana treated with SK, Caltex, Ampol, Citrole oil and water were 17.850 ± 1.282, 3.400 ± 0.630, 15.850 ± 1.439, 20.650 ± 1.212, 19.050 ± 1.155, respectively, and those on starfruit were 15.500 ± 3.969, 3.000 ± 0.707, 13.750 ± 4.131, 17.250 ± 4.385, 62.000 ± 4.708, respectively, and those on banana treated with 6 molecular distillation fractions were 4.400 ± 1.166, 8.200 ± 0.583, 5.400 ± 1.720, 2.400

基金项目：广东省科技计划项目(2007B02050002-6)；广东省桔小实蝇为害控制专项(粤财农[2005]358)

作者简介：欧阳革成，男，1967 年生，湖南邵阳人，博士，副研究员，主要从事植物保护学研究，E-mail：ygctzz@sohu.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：gwliang@scau.edu.cn

收稿日期 Received：2009-08-28；接受日期 Accepted：2010-05-24

±1.077, 4.800 ± 1.594, 12.200 ± 2.63, respectively. There was significant difference in oviposition repellency against *B. dorsalis* among mineral oils ($P < 0.05$), and *n*Cy of mineral oils with the best repellent effect was *n*C23 or so. Correlation analysis of Spearman's rank correlation coefficient (Spearman's rho) test between carbon number distribution and oviposition repellency of mineral oils showed that there was a significant positive correlation between the repellent effect and the content of C23 of mineral oils ($P < 0.05$). The results would be helpful to further research the repellent components of mineral oils against pests and the repellent mechanism.

Key words: Mineral oil; *Bactrocera dorsalis*; oviposition repellency; effective component; molecular distillation

高品质的矿物油乳剂是国际上列为可在有机食品生产中使用的农药种类之一，也是中国绿色食品发展中心颁布的《绿色食品标准》中 AA 级绿色食品生产允许使用的农药。随着现代石化工业的发展，矿物油乳剂的品质大幅提高，在现代害虫管理策略中的有效性及其与策略中的各种措施的可协调性越来越受到认可，在无公害、绿色食品和有机食品生产上有很大的应用前景和市场潜力(Rae *et al*., 2006)。

矿物油乳剂的传统用法是通过矿物油对害虫的物理窒息作用以控制小型的、活动能力较弱的害虫。20 世纪末澳大利亚学者与广东省昆虫研究所合作研究证明了矿物油乳剂对柑橘潜叶蛾 *Phyllocnistis citrella* (Rae *et al*., 1996)和柑橘木虱 *Diaphorina citri*(Rae *et al*., 1997)有较好的产卵拒避作用。目前已报道的能对矿物油乳剂产生拒避反应的害虫还有香蕉交脉蚜 *Pentalonia nigroervosa* (陆永跃等，2001)、昆士兰果蝇 *Bactrocera tryoni* (Liu *et al*., 2002a)、温室蓟马 *Heliothrips haemorrhoidalis* (Liu *et al*., 2002b)、二点叶螨 *Tetranychus urticae* (Liu and Beattie, 2002)、温室白粉虱 *Trialeurodes vaporariorum* (Xue *et al*., 2002)、橘小实蝇 *Bactrocera dorsalis* (欧阳革成等，2007)等多种害虫，显示矿物油乳剂在害虫综合治理中具有良好的应用前景。

目前国际上对矿物油乳剂拒避害虫的机理及其有效成分尚没有研究清楚。已有研究报道表明，矿物油乳剂的组成与其拒避害虫作用的效果有关。Liu 等(2001)使用 3 种矿物油乳剂喷雾处理柑橘苗，发现矿物油对柑橘潜叶蛾的产卵拒避作用随矿物油的正构烷烃碳数当量 *n*Cy 的增加而增强。以多种矿物油组分浸蘸处理番茄果，测试对昆士兰果蝇的拒避效果，则只有 *n*C20 ~ 22 馏分具有显著产卵拒避效果，*n*C16 ~ 182 和 *n*C24 ~ 27 矿物油组分的效果较差(Liu *et al*., 2002a)。

矿物油乳剂中哪些成分或组分与其对橘小实蝇的产卵拒避作用相关，尚无研究报道。对这些与拒避害虫作用相关的成分或组分的研究，不仅可为筛选、优化矿物油乳剂的配方以提高对橘小实蝇的拒避效果奠定基础，也为探索矿物油乳剂拒避害虫的作用机制提供参考。本研究拟通过比较多种矿物油乳剂及其分子蒸馏组分对橘小实蝇的产卵拒避效果，测定供试矿物油的碳数分布和正构烷烃碳数当量 *n*Cy，对矿物油乳剂中具有拒避橘小实蝇产卵作用的有效组分进行相关性分析，为进一步研究其拒避害虫作用的有效成分和机制提供依据。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 供试矿物油乳剂：SK 绿颖农用喷洒油、加德士-路易夏用油、安波尔喷洒油和法夏乐石蜡油(分别简称为 SK，Caltex，Ampol 和 Citrole 矿物油乳剂)，如表 1。

1.1.2 试虫：供试的橘小实蝇成虫为室内人工繁殖。初始成虫种群由中山大学昆虫学研究所提供，以香蕉 *Musa sapientum* 置于养虫笼中供橘小实蝇成虫产卵。然后将香蕉取出分别以塑料篮盛装，置于铺有 5 cm 厚干净沙子的托盘上，盖上纱网防止其他昆虫产卵。橘小实蝇卵在香蕉中孵化后继续在其中取食，老熟幼虫爬入下面沙子中化蛹。收集含蛹沙子以塑料盒盛装，置于养虫笼中待蛹羽化为成虫。以质量比为 1:1 的白糖和酵母膏混和作为补充营养，海棉醮水供其饮用。待成虫接近产卵中期时分笼备用，仍以白糖 + 酵母膏供其取食，海棉醮水供其饮用。每批成虫的年龄基本相同(羽化日期相差不超过 3 d)。

表 1　供试的矿物油乳剂

Table 1　Mineral oils for experiment

矿物油乳剂 Mineral oil	生产厂商 Manufacturer	分装厂商 Split charging factory
SK 绿颖农用喷洒油(SK) SK EnSpray99	韩国 SK 株式会社 SK Corporation, Korea	山东招远三联化工厂 Sanlian Chemical Plant, Zhaoyuan, Shandong
加德士-路易夏用油(Caltex) Caltex Lovis Miscible Summer oil	澳大利亚加德士石油公司 Caltex Oil Pty Ltd., Australia	
安波尔喷洒油(Ampol) Ampol D-C-Tron Spray oil	澳大利亚安波尔公司 Ampol Ltd., Australia	
法夏乐石蜡油(Citrole) Citrole paraffin oil	法国道达尔流体公司 Total Fluides Co. Ltd., France	江苏龙灯化学有限公司 Longdeng Chemical Co. Ltd., Jiangsu

1.1.3　供试水果：供试的香蕉、阳桃 *Averrhoa carambola* 果从商场购买，选择果色、大小、形状和成熟度相近的水果，清水洗涤晾干后备用。

1.2　矿物油乳剂的分子蒸馏

Caltex 矿物油乳剂和 SK 矿物油乳剂以分子蒸馏方式进行分馏，分子蒸馏器型号为 DCH70，广州美晨高新分离技术有限公司生产。Caltex 矿物油乳剂在 120℃时进行第 1 次分子蒸馏，所得的较轻组分在 105℃时进行第 2 次分子蒸馏。SK 矿物油乳剂在 120℃时进行一次分子蒸馏。矿物油分子蒸馏的具体参数如表 2。

表 2　矿物油乳剂的分子蒸馏参数

Table 2　Parameters of molecular distillation of mineral oils

		蒸发面温度(℃) Temperature of evaporation surface	冷凝面温度(℃) Temperature of condensing surface	夹层温度(℃) Temperature of interlayer	刮膜速度 Casting speed (r/min)	真空度 Degree of vacuum (Pa)
Caltex	第 1 次分子蒸馏 First molecular distillation	120	65	70	200	<0.5
	第 2 次分子蒸馏 Second molecular distillation	105	65	70	200	<0.5
SK	分子蒸馏 Molecular distillation	110	60	70	206	<0.5

1.3　矿物油正构烷烃碳数当量 *n*Cy、碳数分布的测定

4 种矿物油乳剂和 6 种矿物油分馏组分参照美国材料与试验学会(American Society for Testing and Materials，ASTM) ASTM D7169 标准方法进行气相色谱模拟蒸馏，测定其 *n*Cy。试验仪器为 Agilent 7890 色谱仪、FID 检测器、高温模拟蒸馏专用柱(5 m×530 μm×0.1 μm)、HP 化学工作站，分析软件为模拟蒸馏软件 AC Simdis。色谱条件为：柱温：初温 40℃，以 10℃/min 的速率升至 430℃，保持 5 min；汽化温度：初始温度 100℃，进样后，以 15℃/min 的速率升至 430℃，保持 22 min；检测器温度：430℃；载气流速：3 mL/min，高纯氦(He)；燃气流速：35 mL/min，高纯氢(H_2)；助燃气流速：350 mL/min，净化空气；进样量：0.1 μL。

4 种矿物油乳剂和 6 种矿物油分馏组分参照 ASTM D5442 标准方法测定其碳数分布值。试验仪器为 SHIMADZU(岛津)产气质联用仪 GC/MS：GCMS-QP2010(用于定性)、Fuli 9750 气相色谱仪(用于定量)、FID 检测器、FL9500 工作站、安捷伦产 HP-5 色谱柱(50 m×320 μm×0.17 μm)，分析软件为 GCMS Solution Version 2.50。质谱条件为：离子源：EI 源；离子源温度：178℃；连接口温度：280℃；真空度：2.0 ×10^{-6} Toir；电子倍增电压：1 540 v。色谱条件为：汽化温度：初始温度 100℃，维持 10 min 后，以 10℃/min 的速率升至 350℃；保持 30 min；汽化技术：330℃，无分馏进

样方式；检测器温度：380℃；载气流速：1 mL/min，高纯氦(He)；尾吹气：30 mL/min；燃气流速：35 mL/min，高纯氢(H_2)；助燃气流速：350 mL/min，净化空气；进样量：0.2 μL。

1.4　矿物油乳剂及其各分馏组分对橘小实蝇的产卵拒避效果比较

每个网箱内放入处于产卵中期的橘小实蝇成虫 120 头，雌雄比约为 1∶1。网箱规格为 52 cm × 52 cm × 52 cm，网箱置于室内，温度保持在 25℃，相对湿度 65% ± 5%，光周期 14L∶10D。

将 4 种矿物油乳剂分别用清水稀释 200 倍［浓度为 0.5%(v/v)］，搅拌均匀。以清水为对照，共 5 个处理。取香蕉果浸入药液中，3 s 后取出。待 2 h 后药液晾干。5 个处理的香蕉各取 1 条均匀挂于同一网箱内。24 h 后检查果皮上的橘小实蝇产卵孔数。每个处理 20 个重复。

同上以 4 种矿物油乳剂及清水处理阳桃果，5 个处理的阳桃各取 1 条均匀摆在网箱底板上。24 h 后检查果皮上的橘小实蝇产卵孔数。每个处理 4 个重复。

6 种矿物油分馏组分中分别加入 5% 的 NESEMULER 927 乳化剂，加热充分混和后，稀释成 0.5%(v/v)水乳液。香蕉浸蘸矿物油乳剂的方法同上，不设对照。6 个处理的香蕉各取 1 条均匀置于同一网箱内。每个网箱内放入处于产卵中期的橘小实蝇成虫 30 对，48 h 检查各处理香蕉果上的产卵孔数。每个处理 5 个重复。

1.5　数据处理与分析

1 种矿物油的碳数分布中的油分碳数值与相应碳数油分的百分含量的乘积总和可得出该矿物油近似的正构烷烃碳数当量 nCy 值($v1$)，该 nCy 值与气相色谱模拟蒸馏测定的该矿物油的正构烷烃碳数当量 nCy 值($v2$)进行比较，以检查测定值的拟合程度。

$$拟合度 = [1 - 2 | v2 - v1 | / (v1 + v2)] \times 100\%$$

采用 SPSS 分析软件 Duncan 氏多重比较法比较各生测试验处理之间的差异（卢纹岱，2000）。

气相色谱模拟蒸馏测定的各矿物油的 nCy 值分别与相应的生测值输入 SPSS 分析软件，以 Graphs-Interactive-line 作图。并对各矿物油碳数含量值和相关生测值进行相关性分析。

2　结果与分析

2.1　矿物油乳剂分子蒸馏组分

Caltex 和 SK 矿物油乳剂经过分子蒸馏后各组分及其质量百分比如表 3。Caltex 矿物油乳剂先以 120℃为界分为两部分，其低温段组分又以 105℃为界分为两部分。SK 矿物油乳剂则以 110℃为界分为两部分。

表 3　矿物油分子蒸馏各组分及质量百分比

Table 3　Quality percent of molecular distillation fractions of mineral oils

	蒸馏温度(℃) Distillation temperature	组分 Fractions	质量百分比(%) Mass percent
Caltex	< 120	Cal-A	86.82
	> 120	Cal-B	13.18
	< 105	Cal-C	59.84
	105 – 120	Cal-D	26.98
SK	< 110	SK-A	71.71
	> 110	SK-B	22.29

表中“组分”列中字母代表不同温度区间的矿物油分馏组分。Letters in the “Fractions” row represent molecular distillation oil fractions between different temperature ranges. Cal-A: Caltex oil (< 120℃); Cal-B: Caltex oil (> 120℃); Cal-C: Caltex oil (< 105℃); Cal-D: Caltex oil (105 – 120℃); SK-A: SK oil (< 110℃); SK-B: SK oil (> 110℃). The same below.

2.2　矿物油模拟蒸馏、碳数分布值

各矿物油的模拟蒸馏馏程如表 4。其中 50% 蒸馏量时的碳数即是该矿物油的正构烷烃碳数当量 nCy。

各矿物油的碳数分布值及近似的 nCy 值如表 5。

矿物油碳数分布和模拟蒸馏所得 nCy 的拟合度如表 6，矿物油碳数分布和模拟蒸馏所得 nCy 两者的最大差异只有 0.59，拟合度最低值为97.7%，因此，两种试验方法均有比较好的可靠性，其测定值有较好的准确性。

2.3　矿物油乳剂及其各分馏组分对橘小实蝇的产卵拒避效果比较

在 0.5% 矿物油乳剂的水乳液浸蘸香蕉、阳桃处理下，4 种矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用均差异明显(表 7)。其中，Caltex Lovis 矿物油乳剂处理的香蕉、阳桃中的产卵孔数最少，Citrole 处理的最多。

在 0.5% 矿物油分子蒸馏组分的水乳液浸蘸香蕉处理下，6 种矿物油分子蒸馏组分对橘小实蝇的产卵拒避效果差异显著(表 8)。其中，Cal-D 组分处理香蕉的产卵孔数最少，SK-B 组分处理的最多。

表 4　高效气相色谱模拟蒸馏的矿物油馏程

Table 4　Boiling range of mineral oils of simulation distillation analysis by high temperature gas chromatography

矿物油 Mineral oil	蒸馏温度 Distillation temperature			碳数 Carbon number		
	10%	50%	90%	10%	50%	90%
SK	353.2	395.0	423.8	20.60	24.30	27.22
Caltex	336.8	375.0	406.0	19.48	22.55	25.33
Ampol	347.6	401.8	444.6	20.33	24.20	29.60
Citrole	298.8	335.2	364.4	16.80	19.50	21.80
Cal-A	332.2	370.8	402.2	19.20	22.10	25.05
Cal-B	363.4	396.6	429.0	21.68	24.50	27.80
Cal-C	330.6	366.6	394.6	19.60	21.90	24.25
Cal-D	350.0	384.6	412.6	20.72	23.50	26.06
SK-A	350.8	389.4	417.8	20.51	23.86	26.68
SK-B	377.6	412.4	439.2	22.80	26.04	28.90

表中 10%，50% 和 90% 为已蒸馏油质量占总油量的百分率，蒸馏量达 50% 时的碳数为正构烷烃碳数当量 *n*Cy。10%，50%，and 90% represent mass percent of distillation oil; the carbon number when the mass percent of distilled oil is 50% of total oil represents the equivalent *Normal*-paraffin carbon numbers *n*Cy.

表 5　矿物油的碳数分布比例(%，m/m)

Table 5　Carbon number distribution of mineral oils by high temperature gas chromatography (%，m/m)

碳数 Carbon number	Caltex	Ampol	SK	Citrole	Cal-A	Cal-B	Cal-C	Cal-D	SK-A	SK-B
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.009	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.016	0.000	0.000	0.106	0.000	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.400	0.058	0.205	0.252	0.000	0.000	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.068	0.082	0.000	0.048	0.000
13	0.000	0.000	0.023	0.039	0.000	0.020	0.004	0.000	0.027	0.000
14	0.000	0.000	0.109	0.017	0.075	0.189	0.031	0.000	0.028	0.000
15	0.291	0.061	0.273	0.302	0.086	0.757	0.124	0.177	0.273	0.000
16	0.817	0.340	0.629	1.563	0.684	1.284	0.526	0.749	0.554	0.000
17	1.274	1.005	0.926	5.231	1.096	1.007	1.304	1.062	1.198	0.000
18	2.203	1.684	1.392	14.175	2.023	1.711	2.269	1.482	1.183	0.416
19	3.912	2.637	1.887	25.190	3.895	1.855	4.496	2.183	2.028	0.922
20	8.044	5.474	2.906	26.808	8.916	2.761	10.451	4.407	3.348	1.428
21	12.711	9.012	5.456	16.376	14.434	4.091	16.480	8.464	6.271	2.192
22	16.137	11.944	9.268	6.223	18.005	7.007	19.545	13.684	10.743	3.703
23	17.932	13.969	12.990	3.196	19.456	12.590	18.606	20.058	15.991	7.277
24	15.443	12.484	15.737	0.235	13.463	17.812	11.507	17.422	17.437	11.713
25	9.700	13.857	18.878	0.035	9.899	18.822	7.841	15.127	16.784	21.965
26	5.934	10.357	13.160	0.054	5.126	12.559	3.801	8.328	10.824	21.250
27	3.784	9.023	9.576	0.075	2.189	9.143	2.004	5.239	7.804	17.775
28	1.065	3.765	2.691	0.013	0.213	3.193	0.155	1.398	2.384	4.461
29	0.174	3.577	2.603	0.022	0.220	1.141	0.236	0.167	0.599	2.456
30	0.000	0.811	0.159	0.030	0.000	0.000	0.000	0.054	0.116	0.095
>30	0.579	0.000	1.339	0.416	0.145	3.785	0.181	0.000	2.360	4.347
*n*Cy	22.707	23.791	24.154	19.727	22.480	24.172	22.189	23.290	23.882	25.448

表 6　矿物油碳数分布和模拟蒸馏所得 *n*Cy 的拟合度

Table 6　Fitting degree of *n*Cy values of mineral oils from simulation distillation analysis and carbon number distribution analysis

	碳数分布 Carbon number distribution	模拟蒸馏 Simulation distillation	差值 Difference value	拟合度 Fitting degree
SK	24.15	24.30	−0.15	99.38
Caltex	22.71	22.55	0.16	99.29
Ampol	23.79	24.20	−0.41	98.29
Citrole	19.60	19.50	0.10	99.49
Cal-A	22.48	22.10	0.38	98.30
Cal-B	24.17	24.50	−0.33	98.64
Cal-C	22.19	21.90	0.29	98.69
Cal-D	23.29	23.50	−0.21	99.10
SK-A	23.88	23.86	0.02	99.92
SK-B	25.45	26.04	−0.59	97.71

表 7　矿物油乳剂对橘小实蝇的产卵拒避作用

Table 7　Oviposition repellency of four mineral spray oils against Bactrocera dorsalis

处理 Treatments	产卵孔数(个/果) Number of oviposition punctures per fruit	
	香蕉 Banana	阳桃 Starfruit
SK	17.850 ± 1.282 bc	15.500 ± 3.969 b
Caltex	3.400 ± 0.630 a	3.000 ± 0.707 a
Ampol	15.850 ± 1.439 b	13.750 ± 4.131 ab
Citrole	20.650 ± 1.212 c	17.250 ± 4.385 b
对照 CK	19.050 ± 1.155 c	62.000 ± 4.708 c

同列具不同字母的平均数间差异显著(DMRT 法，$P \leqslant 0.05$)。香蕉试验 20 个重复，阳桃试验 4 个重复。Means within the same column followed by different letters are significantly different (DMRT, $P \leqslant 0.05$). There were 20 replicates in the banana experiment and 4 replicates in the starfruit experiment.

表 8　矿物油分子蒸馏组分对橘小实蝇的产卵拒避作用比较

Table 8　Oviposition repellency of molecular distillation fractions of mineral spray oils against *Bactrocera dorsalis*

处理 Treatments	重复数 Replicate	产卵孔数 Number of oviposition punctures
Cal-A	5	4.400 ± 1.166 ab
Cal-B	5	8.200 ± 0.583 bc
Cal-C	5	5.400 ± 1.720 ab
Cal -D	5	2.400 ± 1.077 a
SK-A	5	4.800 ± 1.594 ab
SK-B	5	12.200 ± 2.634 c

同列具不同字母的平均数间差异显著(DMRT 法，$P \leqslant 0.05$)。Means within the same column followed by different letters are significantly different (DMRT, $P \leqslant 0.05$).

2.4　矿物油 *n*Cy、碳数分布与矿物油产卵拒避作用的相关性

以高效气相色谱模拟蒸馏方法测定的各矿物油中间当量的正构烷烃碳数当量 *n*Cy 分别与表 7 和表 8 中的橘小实蝇产卵孔数输入 SPSS 分析软件，以 Graphs-Interactive-line 作图(图 1)。从图 1 中可知，*n*Cy 值在 23 附近时，橘小实蝇的产卵孔数是最小的，即约 *n*C23 的矿物油拒避害虫的效果最好。

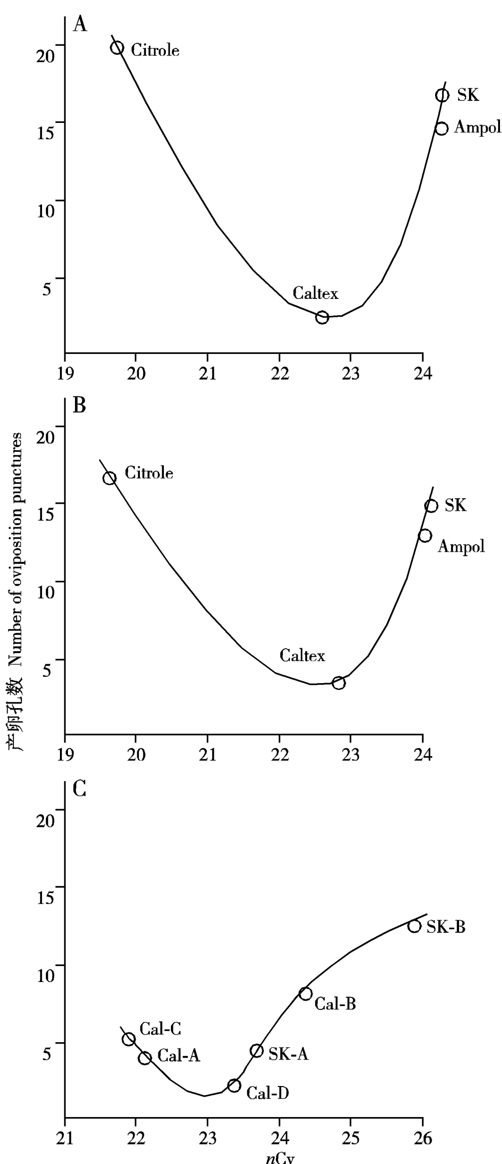


图 1　矿物油正构烷烃碳数当量 *n*Cy 与拒避橘小实蝇作用的关系

Fig. 1　Relation between numbers of oviposition punctures of *Bactrocer dorsalis* and equivalent *Normal*-paraffin carbon numbers (*n*Cy) of mineral oils

A: 4 种矿物油乳剂处理的香蕉 The treatment of bananas dipped with 4 mineral oils; B: 4 种矿物油乳剂处理的阳桃 Starfriuts treated with 4 mineral oils; C: 6 种矿物油分子蒸馏组分处理的香蕉 Bananas treated with 6 molecular distillation fractions of mineral oils.

矿物油的碳数分布与其对橘小实蝇产卵拒避作用的相关性如表 9。4 种矿物油乳剂和 6 种矿物油分子蒸馏组分的碳数分布与这些矿物油作用下的橘小实蝇产卵孔数均有显著负相关性的是 C23 的含量，即矿物油中的 C23 的含量和与矿物油对害虫拒避作用呈显著正相关关系。

表 9　矿物油的碳数分布与橘小实蝇产卵孔数的相关性

Table 9　Correlation between carbon number distribution and number of oviposition punctures of mineral oils against *Bactrocera dorsalis*

碳数分布 Carbon number distribution	4 种矿物油乳剂 Four mineral spray oils				6 种蒸馏组分 Six oil fractions	
	香蕉 Banana		阳桃 Starfruit		香蕉 Banana	
	R	*P*	*R*	*P*	*R*	*P*
C9	–	–	–	–	-0.393	0.441
C10	0.775	0.225	0.775	0.225	0.131	0.805
C11	0.775	0.225	0.775	0.225	0.213	0.686
C12	–	–	–	–	0.232	0.658
C13	0.949	0.051	0.949	0.051	0.213	0.686
C14	0.738	0.262	0.738	0.262	0.116	0.827
C15	0.400	0.600	0.400	0.600	-0.143	0.787
C16	0.400	0.600	0.400	0.600	-0.429	0.397
C17	0.200	0.800	0.200	0.800	-0.429	0.397
C18	0.200	0.800	0.200	0.800	-0.257	0.623
C19	0.200	0.800	0.200	0.800	-0.600	0.208
C20	0.200	0.800	0.200	0.800	-0.600	0.208
C21	0.200	0.800	0.200	0.800	-0.600	0.208
C22	-1.000*	0.000	-1.000*	0.000	-0.600	0.208
C23	-1.000*	0.000	-1.000*	0.000	-0.943*	0.005
C24	0.400	0.600	-0.400	0.600	-0.143	0.787
C25	-0.200	0.800	-0.200	0.800	0.600	0.208
C26	-0.200	0.800	-0.200	0.800	0.600	0.208
C27	-0.200	0.800	-0.200	0.800	0.600	0.208
C28	-0.400	0.600	-0.400	0.600	0.600	0.208
C29	-0.400	0.600	-0.400	0.600	0.943*	0.005
C30	0.200	0.800	0.200	0.800	0.030	0.954
> C30	0.000	1.000	0.000	1.000	0.943*	0.005

表中数字后具 * 者表示有显著相关性（双尾检测，$P<0.05$），*R* 为 Spearman's rho 检测相关系数，*P* 为相关系数的显著值。Data with asterisks show that correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed). *R* is correlation coefficient of Spearman's rho test, and *P* is significance of correlation coefficient.

3　讨论

对矿物油乳剂拒避害虫作用的有效成分进行分析，有助于在生产中筛选合适的产品以更好地防治害虫，也可为研究矿物油乳剂拒避害虫的作用机理提供重要参考。Liu 等(2001)使用 3 种矿物油乳剂喷雾处理柑橘苗，发现矿物油对柑橘潜叶蛾的产卵拒避作用随矿物油的正构烷烃碳数当量 *n*Cy 的增加而增强。Liu 等(2002a)在研究矿物油对昆士兰果蝇的产卵拒避作用时，分别从一种链烷烃油和一种环烷烃油中各选出 *n*C16 ~ 18，*n*C20 ~ 22 和 *n*C24 ~ 27 等 3 个馏分，并进行比较。结果发现，与对照相比，所有处理都能减少昆士兰果蝇在果实上的

产卵刺孔数，但只有链烷烃油中的 *n*C20～22 馏分与对照相比有显著的下降。本研究结果显示，*n*C23 左右的矿物油对橘小实蝇的效果最好。显示矿物油的 *n*Cy 值与其拒避害虫作用有一定的相关性。

但矿物油的 *n*Cy 值反映的是某种矿物油乳剂的一种平均性状，并不能准确反映这种矿物油乳剂中各成分的含量与构成。*n*Cy 值相同的矿物油乳剂，其中的成分及其含量可能迥然不同，其对害虫的拒避效果也可能有所不同。

矿物油的碳数分布比例与相应的矿物油对害虫拒避作用的相关性分析显示，矿物油中的 C23 组分含量与矿物油对害虫的拒避效果存在显著正相关关系，可以认为，矿物油中的 C23 组分与矿物油对橘小实蝇的拒避作用密切相关，这为进一步分析和验证矿物油对橘小实蝇产生拒避作用的有效成分奠定了基础。矿物油中的碳数含量一般呈正态分布，C23 组分含量较多的矿物油，其 *n*Cy 一般为 *n*C23 左右。由于具有良好杀虫效果且对作物药害最低的矿物油乳剂的 *n*Cy 在 *n*C21～*n*C25 之间(Rae *et al*., 2006)，这显示有可能筛选、研发兼具良好杀虫效果和高度拒避害虫作用的矿物油乳剂，以更好地发挥其对多种害虫的综合控制作用。

矿物油拒避害虫的机理还没有公认的解释。Liu 等(2002a)认为可能类似于植物次生物质，是特异性的矿物油分子与特定种类害虫上的感觉受体产生结合，从而引起害虫的拒避反应。应用四臂嗅觉仪测定柑橘木虱对矿物油乳剂的趋性反应，结果表明矿物油乳剂对柑橘木虱成虫既无明显的驱避作用也没有吸引作用(岑伊静等，2005)；橘小实蝇对 4 种矿物油乳剂的触角电位反应值均很低且无显著性差异，但对这些矿物油乳剂的产卵拒避反应则有显著性差异(欧阳革成等，2008)，均说明了矿物油中的特异性挥发成分不是矿物油乳剂产生拒避作用的主要原因。Mensah 等(2005)发现经 Caltex Canopy(R)矿物油乳剂处理的棉花植株挥发性物质释放量比清水处理的少，认为矿物油乳剂抑制或掩饰了植株的挥发性物质。也有可能与矿物油对上表皮脂质的物理破坏以及对取食、产卵刺激物的掩盖等有关(Liu *et al*., 2002a)。对矿物油拒避害虫的机理的研究，需要深入系统地测定分析和比较多种矿物油对多种害虫的拒避作用效果、特性及相关性组分，并对其他的相关性因素进行深入研究。

致谢 该项研究得到澳大利亚西悉尼大学 Andrew Beattie 教授的帮助，在此特致谢忱！

参 考 文 献(References)

Cen YJ, Ye JM, Xu CB, Feng AW, 2005. The taxis of *Diaphorina citri* to the volatile oils extracted from non-host plants. *Journal of South China Agricultural University*, 26(3): 41－44. [岑伊静，叶峻铭，徐长宝，冯安伟，2005. 柑橘木虱对几种非嗜食植物挥发油的趋性反应测定. 华南农业大学学报，26(3)：41－44]

Liu ZM, Beattie GAC, 2002. Effect of a horticultural mineral oil on oviposition by two-spotted mite *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae). *General and Applied Entomology*, 31: 65－67.

Liu ZM, Beattie GAC, Hodgkinson M, Rose HA, Jiang L, 2001. Influence of petroleum-derived spray oil aromaticity, equivalent *n*-paraffin carbon number and emulsifier concentration on oviposition by citrus leafminer, *Phyllocnistis citrella* Stainton (Lepidoptera: Gracillariidae). *Australian Journal of Entomology*, 40: 193－197.

Liu ZM, Beattie GAC, Johnson D, Spooner-Hart R, 2002a. Influence of deposits of a horticultural mineral oil and selected fractions of paraffinic and naphthenic petroleum-derived oils on oviposition by Queensland fruit fly on tomato fruit. In: Beattie GAC, Watson DM, Stevens ML, Rae DJ, Spooner-Hart RN eds. Spray Oils－Beyond 2000. University of Western Sydney, New South Wales. 142－146.

Liu ZM, Beattie GAC, Spooner-Hart R, 2002b. Feeding and oviposition responses of greenhouse thrips to horticultural mineral oil deposits on Valencia orange fruit and mango leaves. In: Beattie GAC, Watson DM, Stevens ML, Rae DJ, Spooner-Hart RN eds. Spray Oils－Beyond 2000. University of Western Sydney, New South Wales. 147－151.

Lu WD, 2000. SPSS for Windows Statistics and Analysis. Publishing House of Electronics Industry, Beijing. 186－196. [卢纹岱，2000. SPSS for Windows 统计分析. 北京：电子工业出版社. 186－196]

Lu YY, Liang GW, Liang JH, 2001. Study on control effect of mineral oil on *Pentalonia nigronervosa*. *Plant Protection*, 27(3): 38－40. [陆永跃，梁广文，梁剑浩，2001. 机油乳剂对香蕉交脉蚜的控制作用研究. 植物保护，27(3)：38－40]

Mensah RK, Frerot B, Al Dabel F, 2005. Effects of petroleum spray oils on oviposition behavior and larval survival of *Helicoverpa armigera* Hubner (Lepidoptera: Noctuidae) and *Ostrinia nubilalis* Hubner (Lepidoptera: Pyralidae). *International Journal of Pest Management*, 51(2): 111－119.

Ouyang GC, Yang YP, Zhong GL, Xiong JJ, Huang MD, 2007. Effects of 4 mineral spray oils on oviposition behavior of *Dacus* (*Bactrocera*) *dorsalis* and *Diaphorina citri*. *Plant Protection*, 33(4): 72－74. [欧阳革成，杨悦屏，钟桂林，熊锦君，黄明度，2007. 4 种矿物油乳剂对柑橘小实蝇和柑橘木虱产卵行为的影响. 植物保护，33(4)：72－74]

Ouyang GC, Yang YP, Zhong GL, Xiong JJ, Huang MD, Liang GW, 2008. Oviposition repellency and EAG responses of the oriental fruit fly, *Bactrocera dorsalis* (Hendel) to mineral spray oils. *Acta

Entomologica Sinica, 51(4): 390 – 394. [欧阳革成, 杨悦屏, 钟桂林, 熊锦君, 黄明度, 梁广文, 2008. 矿物油乳剂作用下橘小实蝇的产卵拒避及触角电位反应. 昆虫学报, 51(4): 390 – 394]

Rae DJ, Beattie GAC, Huang MD, Yang YP, Ouyang GC, 2006. Mineral Oils and Their Use: Pest Sustainable Management and Green Agriculture. Guangdong Science and Technology Press, Guangzhou. 36 – 41. [Rae DJ, Beattie GAC, 黄明度, 杨悦屏, 欧阳革成, 2006. 矿物油乳剂及其应用——害虫持续控制与绿色农业. 广州: 广东科技出版社. 36 – 41]

Rae DJ, Liang WG, Watson DM, Beattie GAC, Huang MD, 1997. Evaluation of petroleum spray oils for control of the Asian citrus psylla, *Diaphorina citri* (Kuwayama) (Hemiptera: Psyllidae) in China. *International of Pest Management*, 43(1): 71 – 75.

Rae DJ, Watson DM, Liang WG, Tan BL, Li M, Huang MD, Ding Y, Xiong JJ, Du DP, Tang J, Beattie GAC, 1996. Comparison of petroleum spray oils, abamectin, cartap, and methomyl for control of citrus leafminer (Lepidoptera: Gracillariidae) in southern China. *Journal of Economic Entomology*, 89: 493 – 500.

Xue YG, Watson DM, Nicetic O, Beattie GAC, 2002. Impact of *n*C24 horticultural mineral oil deposits on oviposition by greenhouse whitefly *Trialeurodes vaporariorum* (Westwood) (Hemiptera: Aleyrodidae). *General and Applied Entomology*, 31: 59 – 64.

(责任编辑：赵利辉)